

Requested Patent: JP11098791A

Title: BRUSHLESS DC MOTOR ;

Abstracted Patent: JP11098791 ;

Publication Date: 1999-04-09 ;

Inventor(s):

HIRANO MASAHIRO; KOGURE TAKATOSHI; KUROMARU HIROSHI; FUJIWARA  
KENJI; BABA ISAO; HENMI SABURO ;

Applicant(s): MITSUBISHI HEAVY IND LTD; SHINANO DENKI KK ;

Application Number: JP19970250788 19970916 ;

Priority Number(s): JP19970250788 19970916 ;

IPC Classification: H02K21/16; H02K1/16; H02K1/27; H02K29/00 ;

Equivalents: CA2246951, CN1078019C, CN1213882, EP0909009, TW417347B ;

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To increase energy density, by specifying the number of the poles of a permanent magnet, and specifying the number of slots which permits a three-phase armature winding formed at a stator iron core to be disposed for concentrated winding.

**SOLUTION:** Number of the poles of a permanent magnet 2 in a rotor iron core 3 is formed of 14 pieces and the number of slots is formed of 12 pieces, which permits three-phase armature windings U, V, W, U', V', W' formed at a stator iron core 1 to be disposed for concentrated winding. Therefore, the energy density  $E_{dc}$  is improved by forming multi-polarization of the 14 poles, thus enabling to attain size reduction of 10 to 15% in a motor volume compared to conventional embodiments. Quantity of magnet used can also be reduced by 30 to 40% from a product with identical demagnetization strength compared to the conventional embodiment, thus enabling to attain cost reduction. The current capacity of a deriving amplifier is not changed by forming multi-polarization, therefore, it is possible to use a power semiconductor element equivalent to that of a conventional motor. It is also possible to attain the equivalent performance to that of the conventional motor in cogging torque.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-98791

(43)公開日 平成11年(1999)4月9日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

H 0 2 K 21/16

H 0 2 K 21/16

M

1/16

1/16

Z

1/27

5 0 1

1/27

5 0 1 A

29/00

29/00

Z

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平9-250788

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号

(22)出願日

平成9年(1997)9月16日

(71)出願人 000190194

信濃電気株式会社

東京都文京区千石1-23-11

(72)発明者 平野 雅弘

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1

号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72)発明者 小暮 孝敏

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1

号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外3名)

最終頁に続く

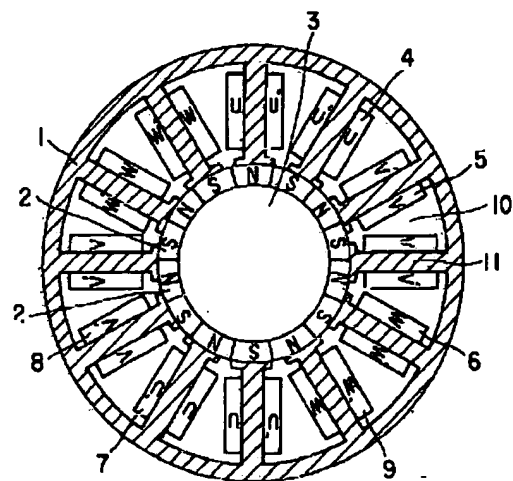
(54)【発明の名称】 ブラシレスDCモータ

(57)【要約】

【課題】本発明は、小形・高出力・低コストなブラシレスDCモータを提供することを目的とする。

【解決手段】本発明に係るブラシレスDCモータは、ステータ鉄心内に永久磁石を表面に配置したロータ鉄心を回転自在に配置したブラシレスDCモータにおいて、

(A)前記永久磁石の極数を14にし、(B)前記ステータ鉄心に形成される3相電機子巻線を集中巻配置可能とするスロット数を12にすることを特徴とする。



1:ステータ鉄心

2:永久磁石

3:ロータ鉄心

4:3相電機子巻線 (U相巻線)

6:3相電機子巻線 (V相巻線)

6:3相電機子巻線 (W相巻線)

7:3相電機子巻線 (U'相巻線)

8:3相電機子巻線 (V'相巻線)

9:3相電機子巻線 (W'相巻線)

10:スロット

11:ステータ鉄心の歯部

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ステータ鉄心内に永久磁石を表面に配置したロータ鉄心を回転自在に配置したブラシレスDCモータにおいて、(A)前記永久磁石の極数を14にし、  
(B)前記ステータ鉄心に形成される3相電機子巻線を集中巻配置可能とするスロット数を12にすることを特徴とするブラシレスDCモータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、産業用ロボットや工作機械などのFA(工場自動化)製品の可動部動力源に利用されるブラシレスDCモータに関する。

## (用語の説明)

## (a)「スロット」

「スロット」とは、電機子鉄心の溝の部分を用いる。そのスロットの中に電機子巻線のコイルを納める。

## (b)「毎極毎相のスロット数q」

「毎極毎相のスロット数q」とは、電機子スロット数Nを、モータ相数mと、モータ極数Pで割った値を用いる。

すなわち

$$P = N / (m \cdot P) = a + (b/c)$$

ただし、a、b、cは整数、(b/c)は既約分数である。

## (c)「整数スロット巻線」

「整数スロット巻線」とは、「毎極毎相のスロット数q」が整数なるものをいう。

## (d)「分数スロット巻線」

「分数スロット巻線」とは、「毎極毎相のスロット数q」が分数なるものをいう。

## (e)「集中巻」

「集中巻」とは、1つの溝に多回数巻いたもの、すなわち、ステータ鉄心の歯の部分に1相分の巻線を巻き付けるもので、電気的な3相位関係が成り立てば、モータ歯数は3相機の場合、3の倍数の数になる。

【0002】集中巻線方式は、巻線機を用いた自動巻に適している。

## (f)「巻線係数」

「巻線係数」とは、最も出力を得られる巻線配置・構成時の出力の値 $P_{out}$ を1.0とした場合に対する出力 $P_{out}$ の値(出力比)を用いる。従って $P_{out}$ は、 $P_{out} = (\text{比例定数}) \cdot \omega \cdot k_w \cdot N \cdot I \cdot \Phi_g$ ただし、

$\omega$  : 回転速度 [rad/s]

$k_w$  : 巻線係数 ( $0 \leq k_w \leq 1$ )

N : 巻線数

I : 電流 [A]

$\Phi_g$  : 主磁束量 [Wb]

となる。

## (g)「コギングトルク」

「コギングトルク」とは、非常に低速で生じる電動機の

トルク変動であり、回転子のアライメントや固定子の歯のために回転子位置によって磁束が変化することが原因となる。

## (h)「コギングトルクリップル次数」

「コギングトルクリップル次数」とは、ロータが1回転する間に発生するトルク変動(コギングトルク)の周期数をいう。

## 【0003】

【従来の技術】従来の技術を図4～図7に示す。図4は、従来の6極18スロットモータの正面断面図、

[毎極毎相のスロット数 $q = 18 / 3 \times 6 = 1.0$ の場合]

図5は、従来の8極15スロットモータの正面断面図、

[毎極毎相のスロット数 $q = 15 / 3 \times 8 = 5/8$ の場合]

図6は、極数とエネルギー密度の関係を示す図。

【0004】図7は、従来の8極9スロットモータのコギングトルク対策例を示す図。

[毎極毎相のスロット数 $q = 9 / 3 \times 8 = 3/8$ の場合]

ブラシレスDCモータを、小形・高出力で、かつ低コストに製造するためには、(1)出力に対するモータ体積比であるエネルギー密度 $E_{dc}$ を大きくとることと、

(2)モータの構造を簡易にするために電機子巻線を配置するスロット数を極力減らし、作業性の高い巻線方式を採用することが必要がある。

【0005】図6はロータ外径と、巻線方式を同一とし、ステータ鉄心の磁束密度、電機子巻線の電流密度、その他の電気磁気特性をほぼ同一とした場合に、ステータ鉄心に設けられる極数を変化させた時のエネルギー密度 $E_{dc}$ の値を示す。

【0006】図6からわかるように、エネルギー密度 $E_{dc}$ を大きくするためには、モータの極数を多くする必要がある。図4に従来のブラシレスDCモータの断面図を示す。

【0007】図4の例は、ロータ鉄心3に極数6の永久磁石2を備え、ステータはスロット数18のステータ鉄心1に3相電機子巻線U、V、W、 $U'$ 、 $V'$ 、 $W'$ を施したモータの例である。

【0008】なお、3相電機子巻線 $U'$ は、3相電機子巻線Uに対して電流の流れる方向が逆であることを示し、3相電機子巻線 $V'$ 、 $W'$ についても同様に3相電機子巻線V、Wに対して電流の流れる方向が逆であることを示し、U相巻線を4、V相巻線を5、W相巻線を6、 $U'$ 相巻線を7、 $V'$ 相巻線を8、 $W'$ 相巻線を9で表している。

【0009】図4のモータの毎極毎相のスロット数qは、 $q = 18 / (3 \times 6) = 1.0$ となる。このようなモータの巻線方式は、

(a) 毎極毎相のスロット数qが1.0 (=18スロット)

ト/3相/6極)の整数スロット重ね巻きであり、ロータ外径を制限した条件下で最もエネルギー密度が高く、とれる方式であり、他の極数にも適用される。

(b) また、毎極毎相のスロット数 $q$ が $1.0 > q > 0.5$ 超の範囲については、特公平7-99923の巻線方式などが用いられている。

【0010】そのモータの断面図の例を図5に示す。図5の例は、一般に最も用いられている極数8のモータの例である。図5のモータの毎極毎相のスロット数 $q$ は、 $q = 15 / (3 \times 8) = 5/8$ となる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来の技術には、次のような問題がある。

(1) 図6のエネルギー密度 $E_{dc}$ と極数の関係から、モ

$$V_{in} \geq [ (R_a \cdot I + K_1 \cdot \Phi_g \cdot N)^2 + (2\pi N / 60 \cdot P / 2 \cdot L_a \cdot I)^2 ]^{1/2}$$

式(1)

であり、出力トルク $\tau$ は、

$$\tau = K_2 \cdot \Phi_g \cdot I$$

式(2)

ただし、

$R_a$  : 電機子巻線抵抗 [Ω]

$K_1$  : 誘起電圧に関する係数 [V/Wb/rpm]

$K_2$  : トルクに関する係数 [Nm/Wb/A]

という関係式が成り立つが、

(a) この時のスロット数として、毎極毎相のスロット数 $q > 1.0$ の分数スロット巻線や、 $1.0 > q > 0.5$ の重ね巻きを採用すれば、良好な誘起電圧波形が得られ、トルクリップルなどのモータ特性は良好なものとなるが、多極化による多スロット化、電機子巻線の複雑化の影響から生産性が下がり、モータのコスト高を招くという問題がある。

(b) 毎極毎相のスロット数 $q = 1.0$ を採用すれば、良好な誘起電圧波形を得るために、ステータまたは磁石のスキューや、磁石の縁を薄くするなどの対策が別途必要であり、さらにコスト高になるという問題がある。

(c) 毎極毎相のスロット数 $q = 0.5$ は、有効な方式であるが、エネルギー密度と比例関係にある巻線係数が0.866となり、図5の従来モータの巻線係数0.954と比較して10%程度小さくなることから、同極数のモータより若干大きくなるという欠点がある。

(d) 一般に、毎極毎相のスロット数 $q < 0.5$ を採用すれば、省スロット化の影響から生産性は向上するが、省スロット化が進むにつれてステータ側のティースとロータ側の磁石との間の吸引力の変化が大きくなり、コギングトルクが大きくなるため、図7に示すコギングトルク対策例の様に磁石の縁を薄くするか、ステータまたは磁石のスキューという対策が別途必要となる。その為、コスト高となる問題がある。

本発明は、これらの問題を解決することができるブラシレスDCモータを提供することを目的とする。

一タを小形・高出力化するためには、多極化が必要であるが、定格回転速度 $N$  [rpm]を一定にして、多極化すると電氣的な周波数は極数 $P$ に比例するため、駆動アンプがモータへ供給可能な電圧(電源電圧に比例した値) $V_{in}$  [V]に占める電機子インダクタンス $L_a$

[H]による電圧降下分、すなわち

$$2\pi N / 60 \cdot P / 2 \cdot L_a \cdot I \text{ [V]}$$

が大きくなり、ある極数以上から主磁束量 $\Phi_g$  [Wb]を下けた分、電流 $I$  [A]を上げることで出力トルク $\tau$  [Nm]を維持するような設計となる。

【0012】そのため、駆動アンプの電流容量が上がり、システムコストが割高になるという問題がある。

(2) 駆動アンプがモータへ供給可能な電圧 $V_{in}$ は、

【0013】

【課題を解決するための手段】

(第1の手段)

本発明に係るブラシレスDCモータは、ステータ鉄心内に永久磁石を表面に配置したロータ鉄心を回転自在に配置したブラシレスDCモータにおいて、(A)前記永久磁石の極数を14にし、(B)前記ステータ鉄心に形成される3相電機子巻線を集中巻配置可能とするスロット数を12にすることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】

(第1の実施の形態) 本発明の第1の実施の形態を図1～図3に示す。図1は、第1の実施の形態に係るモータの正面断面図。

【0015】図2は、同一トルク発生時のモータの極数と電流の関係を示す図。図3は、第1の実施の形態に係るモータのコギングトルクを示す図である。図1に示すように、本発明のブラシレスDCモータは、ロータ鉄心3に極数14の永久磁石2を備え、ステータはスロット数12のステータ鉄心1に、電氣的角度で120°位相のずれた位置に3相電機子巻線 $U$ ,  $V$ ,  $W$ ,  $U'$ ,  $V'$ ,  $W'$ を配置したモータである。

【0016】なお、3相電機子巻線 $U'$ は3相電機子巻線 $U$ に対して巻方向が逆、すなわち電流の流れる方向が逆であることを示し、3相電機子巻線 $V'$ ,  $W'$ についても同様に3相電機子巻線 $V$ ,  $W$ に対して巻方向が逆、すなわち電流の流れる方向が逆であることを示し、 $U$ 相帯巻線を4、 $V$ 相帯巻線を5、 $W$ 相帯巻線を6、 $U'$ 相帯巻線を7、 $V'$ 相帯巻線を8、 $W'$ 相帯巻線を9で表している。

【0017】本発明のブラシレスDCモータについての

「毎極毎相のスロット数 $q$ 」は、電機子スロット数 $N=12$ 、モータ相数 $m=3$ 、モータ極数 $P=14$ であるから、

$q=N/(m \cdot P)=12/(3 \times 14)=2/7$ となる。

【0018】図2(A)は、モータ極数をパラメータとして、定格出力37kW、1000rpmのモータの設計を行い、その時の定格電流とモータ極数の関係を導出したものである。

【0019】図2(A)の結果は、定格出力に関係なく他の出力にも適用出来る。図2(B)は、図2(A)のモータ極数が8のときの電流(81.4A)を基準値(1.0)にして、モータ極数に対する電流の規格化値との関係を示したものである。

【0020】図3は、定格出力5.0kW、3000rpmのモータを外部駆動装置により、低速運転させたときの、出力トルクを計測した結果を示す。

(モータ極数を14にする理由)モータの極数に関わら

表 1

巻線係数	スロット数
0.933	12
0.717	9
0.75	6

表1のスロット数は、集中巻の場合、3相機のため、3の倍数になる。

(作用)前記のようにロータ鉄心3の永久磁石2の極数を14にするとともに、ステータ鉄心1に形成される3相電機子巻線U、V、W、U'、V'、W'を集中巻配置可能とするスロット数12にする構成にすることにより、

(1)極数14への多極化によるエネルギー密度 $E_{dc}$ の向上から、従来例に比較してモータ体積で10~15%の小形化が可能になる。

(2)また、磁石使用量でも従来例に比較して減磁耐力同一品で30~40%の削減が可能であり、低コスト化が可能になる。

(3)多極化による駆動アンプ電流容量の変化はなく、従来モータと同等の電力半導体素子を利用することが出来る。

(4)スロット数 $N=12$ 、毎極毎相のスロット数 $q=2/7$ ( $q<0.5$ 以下)であるが、磁石の縁を薄くするという対策、または、ステータまたは磁石のスキューという対策を施さなくても、図3に示すように、本発明モータのコギングトルクは、図7に示した従来モータの性能並を実現することができる。

(5)本発明モータの巻線係数も0.933と従来モータ並になることから、エネルギー密度が高いままで、さらに省スロットで、かつ巻線作業を自動機にて行える集中巻線方式を採用できる。

【0024】そのため製造の作業性を向上することが出

ず、効率はほとんど変化しない。

【0021】多極化の利点は、磁石使用量の減少による低コスト化である。多極化の欠点は、巻線複雑化・ドライバ制御性能の低下である。ドライバ駆動の面から電流を抑えるためには14極以下が適している。

【0022】同一トルク発生時のモータの極数と電流の関係を示す図2(B)の結果から、モータのエネルギー密度 $E_{dc}$ を上げるための多極化と駆動アンプ電流容量の増加関係を考慮し、電流増加の少ないモータ極数14を採用する。

(スロット数を12にする理由)エネルギー密度 $E_{dc}$ と比例関係にある巻線係数をスロット毎に導出すると、毎極毎相のスロット数 $q<0.5$ の範囲でいうと、表1に示すように、12スロットが最も高く、その分、小型で、生産性の高いモータを実現することが出来るためである。

【0023】

モータ極数	巻方
14	集中巻
14	集中巻
14	集中巻

来る。従って、低コストモータの製造が可能になる。

(6)本発明モータは、毎極毎相のスロット数 $q=2/7$ のため、 $q=2$ の多スロットモータと同等の分布巻効果があり、誘起電圧波形も従来モータ並に正弦波化できる。そのため、サーボモータに要求される出力トルクの安定性の実現が可能になる。

(7)また、スロット数が12と極数14との最小公倍数で決まるコギングトルクリップル次数が84と大きくとれるため、モータ回転リップルを機械系の応答周波数の影響範囲外に設定することが容易になる。

(8)スロット数が偶数のため、ロータの偏心・組立精度・ベアリングのがた、あるいは磁石の加工精度・着時状態・配置精度などのばらつきなどにより生じるモータ内部の磁気回路のアンバランス力が、スロット数の奇数時に比べ構造的に発生にくい利点も有する。

【0025】

【発明の効果】本発明は前述のように構成されているので、以下に記載するような効果を奏する。

(1)小形・高出力・低コストなブラシレスDCモータの製造を可能にすることが出来る。

(2)本発明は、モータのエネルギー密度 $E_{dc}$ を上げるための多極化と駆動アンプ電流容量の増加関係を考慮した図2の結果から、電流増加の少ない極数14を採用することで、駆動アンプ容量を変化させることなく最もエネルギー密度の高いモータを実現することが出来る。

(3)スロット数は12(毎極毎相のスロット数 $q=2/7$ 、 $q<0.5$ )を採用することで、一般的な欠点と

して言われているようなコギングトルク対策（特別に磁石の縁を薄くする、または、ステータまたは磁石のスキューを施すこと）を行わなくても、モータの特性にも優れ、小形で、巻線作業性の最も量産に優れた集中巻を採用することにより、低コスト化を実現することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るモータの正面断面図。

【図2】同一トルク発生時のモータの極数と電流の関係を示す図。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係るモータのコギングトルクを示す図。

【図4】従来の6極18スロットモータの正面断面図。

【図5】従来の8極15スロットモータの正面断面図。

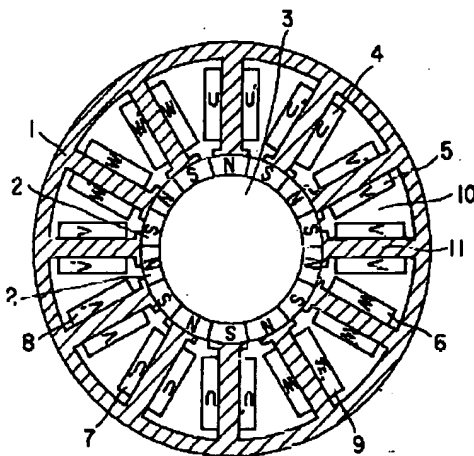
【図6】極数とエネルギー密度の関係を示す図。

【図7】従来の8極9スロットモータのコギングトルク対策例を示す図。

【符号の説明】

- 1 …ステータ鉄心
- 2 …永久磁石
- 3 …ロータ鉄心
- 4 …3相電機子巻線（U相帯巻線）
- 5 …3相電機子巻線（V相帯巻線）
- 6 …3相電機子巻線（W相帯巻線）
- 7 …3相電機子巻線（U<sup>-</sup>相帯巻線）
- 8 …3相電機子巻線（V<sup>-</sup>相帯巻線）
- 9 …3相電機子巻線（W<sup>-</sup>相帯巻線）
- 10…スロット
- 11…ステータ鉄心の歯部

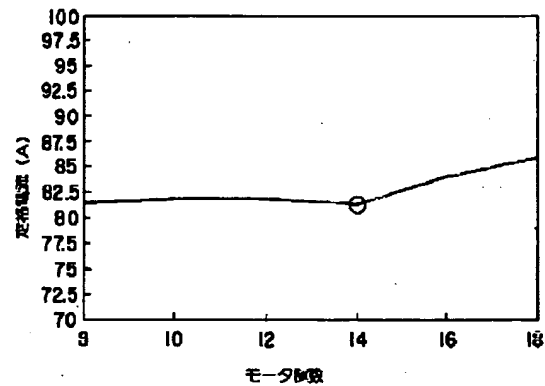
【図1】



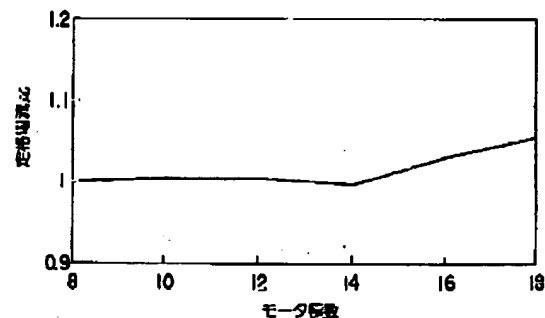
- 1: ステータ鉄心
- 2: 永久磁石
- 3: ロータ鉄心
- 4: 3相電機子巻線（U相帯巻線）
- 5: 3相電機子巻線（V相帯巻線）
- 6: 3相電機子巻線（W相帯巻線）
- 7: 3相電機子巻線（U<sup>-</sup>相帯巻線）
- 8: 3相電機子巻線（V<sup>-</sup>相帯巻線）
- 9: 3相電機子巻線（W<sup>-</sup>相帯巻線）
- 10: スロット
- 11: ステータ鉄心の歯部

【図2】

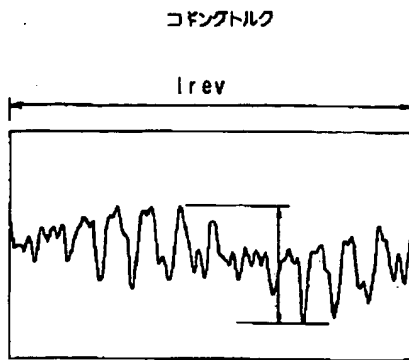
(A)



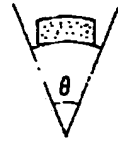
(B)



【図3】

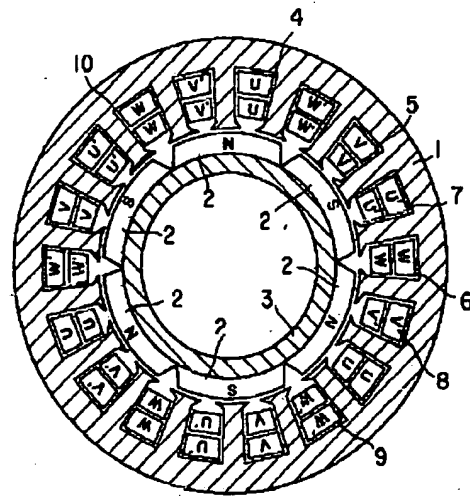


磁石形状



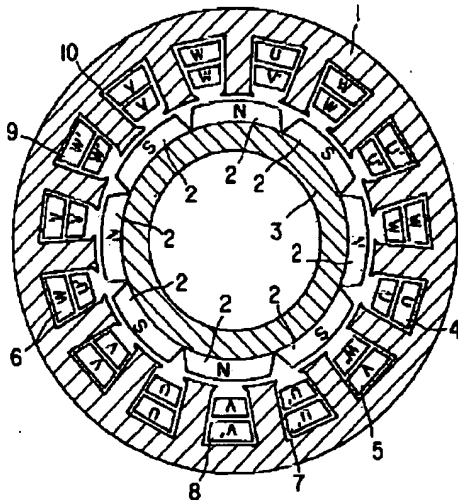
対策なし  
(ステータ、磁石部スキューなし)  
(磁石厚み均一)

【図4】



- 1: ステータ鉄心
- 2: 永久磁石
- 3: ロータ鉄心
- 4: 3相電磁気子巻線 (U相巻線)
- 5: 3相電磁気子巻線 (V相巻線)
- 6: 3相電磁気子巻線 (W相巻線)
- 7: 3相電磁気子巻線 (U'相巻線)
- 8: 3相電磁気子巻線 (V'相巻線)
- 9: 3相電磁気子巻線 (W'相巻線)
- 10: スロット

【図5】



- 1: ステータ鉄心
- 2: 永久磁石
- 3: ロータ鉄心
- 4: 3相電磁気子巻線 (U相巻線)
- 5: 3相電磁気子巻線 (V相巻線)
- 6: 3相電磁気子巻線 (W相巻線)
- 7: 3相電磁気子巻線 (U'相巻線)
- 8: 3相電磁気子巻線 (V'相巻線)
- 9: 3相電磁気子巻線 (W'相巻線)
- 10: スロット

【図6】

